

POWERED BY Dialog

ALIGNER AND EXPOSURE METHOD USING THE SAME**Publication Number:** 2000-100685 (JP 2000100685 A) , April 07, 2000**Inventors:**

- KOMATSUDA HIDEKI
- KONDO HIROYUKI

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 10-263679 (JP 98263679) , September 17, 1998**International Class:**

- H01L-021/027
- G02B-017/00
- G03F-007/20

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an aligner capable of each kind of measurement by making an illumination system have a plurality of reflecting mirrors, and arranging a detector which detects the electric property accompanying the photoelectric effect by the illumination of X ray, on the reflective face of at least one reflective mirror out of plural reflective mirrors. **SOLUTION:** In an aligner, irradiating the reflective film on the surface of the deflective mirror 7a provided in the closest position to the reflective mask 8 as a face to be irradiated with EUV light (soft X ray) will let electrons fly out of the reflective film of the deflecting mirror 7a by photoelectric effect, and let a positive electrode plate 26 receive electrons. Accordingly, an ammeter 20 shows the current value corresponding to the quantity of light energy that the EUV light has irradiated the reflective film of the deflective mirror 7a. Moreover, irradiating the filter 51 provided in the closest position to the wafer 10 as a face for irradiation with EUV light will let electrons fly out of the surface of the filter 51 and let the positive electrode plate opposed to this filter 51 receive the electrons, and the ammeter 25 shows the current value corresponding to the quantity of light energy applied to the filter 51. COPYRIGHT: (C)2000,JPO

JAPIO

© 2006 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.
Dialog® File Number 347 Accession Number 6514968

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-100685
(P2000-100685A)

(43) 公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A 2 H 0 8 7
G 0 2 B 17/00		G 0 2 B 17/00	A 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20	5 0 3 5 F 0 4 6
		H 0 1 L 21/30	5 3 1 M

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-263679
(22) 出願日 平成10年9月17日(1998.9.17)

(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72) 発明者 小松田 秀基
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
(72) 発明者 近藤 洋行
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

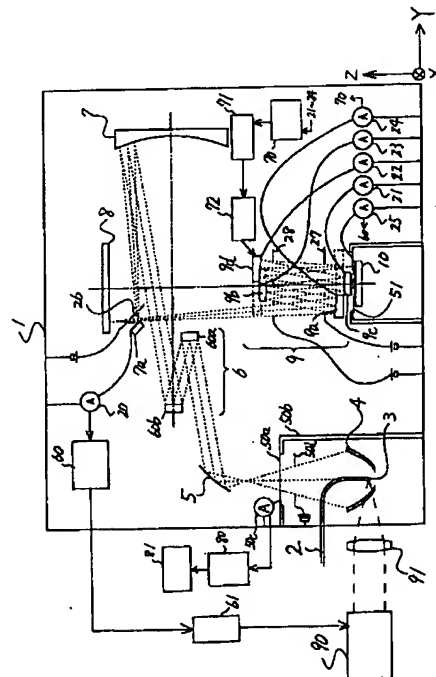
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置及び該装置を用いた露光方法

(57) 【要約】

【目的】 ハーフミラー等の光束を振幅分割する光学部材を用いずとも、例えば軟X線領域の波長を持つ露光光の検出し、各種の計測が実現できる露光装置を提供にある。

【構成】 X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記照明系は、複数の反射ミラーを有し、前記複数の反射ミラーのうちの少なくとも1つ反射ミラーの反射面に関して、前記X線の照射による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置した構成とした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記照明系は、複数の反射ミラーを有し、前記複数の反射ミラーのうちの少なくとも1つ反射ミラーの反射面に関して、前記X線の照射による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置。

【請求項2】X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系と、前記マスクのパターンを感光性基板へ投影する投影系とを備えた露光装置において、前記投影系は、複数の反射ミラーを有し、前記複数の反射ミラーのうちの少なくとも1つ反射ミラーの反射面に関して、前記X線の照射による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置。

【請求項3】X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記X線光源と前記感光性基板との間の光路中に、前記X線の照射による光電効果に伴う光学素子を配置し、前記光学素子による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置。

【請求項4】前記検出装置からの検出情報に基づいて前記マスクまたは感光性基板でのX線の露光量を算出する露光量算出手段と、前記露光量算出手段からの出力に基づいて、前記X線光源からのX線が前記マスクへ導かれるのを制限するX線制限手段とを有することを特徴とする請求項1又は請求項3に記載の露光装置。

【請求項5】前記検出装置からの検出情報に基づいて前記反射ミラーまたは前記光学素子の光学特性の劣化を検知する検知手段を有することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに1項に記載の露光装置。

【請求項6】前記検出装置からの検出情報に基づいて前記反射ミラーの変形量を算出する変形量算出手段と、前記変形量算出手段からの出力に基づいて、前記反射ミラーの調整量を算出する調整量算出手段と、前記調整量算出手段からの出力に基づいて前記反射ミラーを調整する調整手段とを有することを特徴とする請求項2に記載の露光装置。

【請求項7】前記検出装置は、アースされた電流計または電圧計を有することを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに1項に記載の露光装置。

【請求項8】前記反射膜または前記光学素子の近傍には、前記アースに対して正の電位を持つ電極部材を配置したことを特徴とする請求項7に記載の露光装置。

【請求項9】前記反射膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素および珪素酸化物の内の2つ以上の物質

を積層させて形成された多層膜で形成されていることを特徴とする請求項1、2、4、5、6、7及び8のいずれかに1項に記載の露光装置。

【請求項10】前記照明系によって照明されるべき前記被照射面に配置されたマスクを保持するマスクステージと、前記感光性基板を保持する基板ステージと、前記マスクに形成された所定パターンを前記感光性基板に投影する際に、前記投影光学系に対して前記マスクステージと前記基板ステージとを相対的に移動させる駆動装置とを備えたことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれかに1項に記載の露光装置。

【請求項11】請求項1乃至請求項10のいずれかに1項に記載の露光装置を用いた露光方法において、前記照明系によって前記マスクを照明する照明工程と、前記前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程を含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、軟X線等を含むX線を用いた光リソグラフィー工程によって、高集積度の半導体デバイスを製造する露光装置および該露光装置を用いた露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光リソグラフィーにより半導体デバイスを製造する露光装置においては、投影原版としてのマスク上の微細なパターンを感光性基板としてのウエハ上へ正確かつ忠実に転写するためには、露光光を供給する光源から感光性基板へ至る露光用の光路中にて露光光の1部を抽出し、その抽出光に基づいて各種の計測が不可欠となる。

【0003】このため、従来の露光装置においては、露光光を供給する光源から感光性基板へ至る光路中にハーフミラー等の光分割部材を配置して、その光分割部材により取り出された露光光の1部を光電検出器にて光電検出して、この光電信号に基づいて各種の計測を行っている。その1つの計測手法として、露光量の制御のために計測手法が挙げられる。そこで、図2を参照しながら、露光量の制御のために計測手法について以下に説明する。

【0004】まず、露光装置においては、微細なパターンを解像することは勿論のこと、現像後のパターン線幅のバラツキが、ある許容値以内に収まることが求められる。そのためには、露光量を高い精度で制御する必要がある。求められる露光量精度は1%程度、又はそれ以下である。そのためには、露光動作中に常に感光性基板へ導かれる露光光による露光量を計測する機構が必須となる。

【0005】図2は従来の露光装置の構成を示している。図2に示すように、波長が248nmのパルス光を

発振するKrFエキシマレーザまたは波長が193nmのパルス光を発振するArFエキシマレーザ等の光源101から供給された露光用の光束は、ビーム整形光学系102により所定の光束断面形状に整形され、偏向ミラー103を介して、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ104に入射する。フライアイレンズ104によって多数の光源像(2次光源)が形成され、その多数の光源像からの光束はコンデンサー光学系(106、109)を介して集光されて、マスク110を重畳的に均一照明する。

【0006】以上のように、マスク110が均一照明されると、投影光学系110によってマスクのパターン像が感光性基板(ウエハ)113に投影転写される。なお、フライアイレンズ104の射出側には開口絞り105が設けられており、投影光学系111におけるレンズ110aとレンズ110bとの間には開口絞り112が設けられている。また、コンデンサー光学系におけるレンズ109aとレンズ109bとの間には偏向ミラー108が設けられている。

【0007】また、図2に示す露光装置においては、露光量を計測するために、コンデンサー光学系中のレンズ106とレンズ109aとの間に配置されたハーフミラー107と、ハーフミラー107の表面により振幅分割された反射光を集光する集光レンズ114と、集光レンズにより集光された光を光電検出する光電検出器115とを備えている。

【0008】この光電検出器115の受光面は、ウエハ113と光学的に共役な位置に配置されている。そして、光電検出器115とウエハ113とが光学的に共役な位置関係となることで、光電検出器115上での照度変化とウエハ113上での照度変化とが高い精度で比例する。このため、この光電検出器115での測定結果を不図示の露光量制御装置にフィードバックして、光源1からの出力を停止またはシャッター等の遮光手段によって露光光の供給を遮断することにより、高精度のもとで露光量を制御している。

【0009】また、別の計測手法としては、露光光が投影光学系111を通過することによる蓄熱の影響によって投影系の光学特性の変化するという所謂、投影光学系の照射変動を補正するための計測手法が挙げられる。この場合、図2に示すハーフミラー107の裏面の反射方向に第2集光レンズ116と第2光電検出器117を配置して、ウエハ113にて反射する露光光を、投影光学系111、マスク110、レンズ109b、偏向ミラー108、レンズ109a、ハーフミラー107及び集光レンズ116を介して、第2光電検出器117にて光電検出する。そして、ハーフミラー107の表面反射により得られる光電検出器115からの出力と上記ハーフミラー107の表面反射により得られる第2光電検出器117からの出力とに基づいて、投影光学系111の光学

特性の変化量を求めて、投影光学系111中のレンズの移動や投影光学系111内の圧力を変化させることにより、投影光学系111の光学特性の変化を補正している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】露光装置に搭載される投影系の解像力は、以下の式(1)にて示される。

$$(1) \quad R \propto \lambda / NA$$

ここで、Rは感光性基板上に形成される解像限界のパターンのピッチ、 λ は露光波長、NAは投影系の開口数である。

【0011】上記式(1)にて示されるように、露光波長が短い程、解像限界のパターンのピッチを小さくすることができるため、より一層微細なパターンを感光性基板上に形成するには、極力短い露光波長を持つ露光光による露光が望まれる。現在、この種の露光装置において、考えられている最も短い波長は、5~20nm程度の軟X線と呼ばれる領域の波長である。

【0012】しかしながら、この軟X線領域の波長においては、軟X線を透過させる透過性の光学部材が存在しないため、レンズを用いて投影露光装置の光学系を組むことは困難であり、所定の曲率を持つ反射ミラーを複数用いて投影露光装置の光学系を組まざるを得ない。また、軟X線を用いた露光装置においても、前述のように、投影原版としてのマスク上の微細なパターンを感光性基板としてのウエハ上へ正確かつ忠実に転写するためには、露光光を供給する光源から感光性基板へ至る露光用の光路中にて露光光の1部をハーフミラーにより抽出し、その抽出光に基づいて各種の計測が不可欠となる。

【0013】例えば、前述したように、露光量を制御するために、被露光面(ウエハ113)上と等価な面を光電検出器115の受光面上に形成する場合には、露光用の光束をハーフミラーにより振幅分割しなければならない。つまり、ハーフミラーの代わりに露光用の光束を波面分割する光学部材を用いて、露光用の光束を波面分割すると、光電検出器115に導かれる光束の部分と被露光面(ウエハ113)に達する光束の部分とは、光源の輝点領域の異なる箇所又は光源の輝点領域から異なる方向に発した光束となるため、露光量制御する際の検出精度が大幅に低下してしまう。

【0014】しかしながら、軟X線領域の波長を持つ光束を振幅分割するハーフミラーを製造することは基本的に困難であるという問題がある。そこで、本発明は、以上の問題に鑑みてなされたものであり、ハーフミラー等の光束を振幅分割する光学部材を用いずとしても、例えば軟X線領域の波長を持つ露光光の強度等を検出し、各種の計測が実現できる露光装置及び該装置を用いた露光方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するた

めに、請求項1に係る発明では、X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記照明系は、複数の反射ミラーを有し、前記複数の反射ミラーのうちの少なくとも1つ反射ミラーの反射面に関して、前記X線の照射による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置を提供する。

【0016】また、請求項2に係る発明では、X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系と、前記マスクのパターンを感光性基板へ投影する投影系とを備えた露光装置において、前記投影系は、複数の反射ミラーを有し、前記複数の反射ミラーのうちの少なくとも1つ反射ミラーの反射膜に関して、前記X線の照射による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置を提供する。

【0017】また、請求項3に係る発明では、X線を発生させるX線光源と、該X線光源からのX線をマスクに導く照明系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記X線光源と前記感光性基板との間の光路中に、前記X線の照射による光電効果に伴う光学素子を配置し、前記光学素子による光電効果に伴う電気的な特性を検出する検出装置を配置したことを特徴とする露光装置を提供する。

【0018】以上の請求項1～3に係る発明によって、従来必要であったハーフミラー等の光分割部材を用いずとも、反射ミラーの反射膜または光学素子の表面での電気的な特性の検出が可能となるため、これにより、露光装置において望まれる種々の計測や制御を行うことができる。また、請求項4に係る発明では、前記検出装置からの検出情報に基づいて前記マスクまたは感光性基板でのX線の露光量を算出する露光量算出手段と、前記露光量算出手段からの出力に基づいて、前記X線光源からのX線が前記マスクへ導かれるのを制限するX線制限手段とを有するようにしたものである。これにより、良好なる露光量制御を実現することができる。

【0019】また、請求項5に係る発明では、前記検出装置からの検出情報に基づいて前記反射ミラーまたは前記光学素子の光学特性の劣化を検知する検知手段を有するように構成したものである。これにより、例えば、反射ミラーの反射膜または光学素子の表面での汚れ等による光学特性の劣化を検知することができるため、これらの光学部材の交換等の時期を容易に知ることができる。

【0020】さらに、請求項6に係る発明では、前記検出装置からの検出情報に基づいて前記反射ミラーの変形量を算出する変形量算出手段と、前記変形量算出手段からの出力に基づいて、前記反射ミラーの調整量を算出する調整量算出手段と、前記調整量算出手段からの出力に基づいて前記反射ミラーを調整する調整手段とを有する

ように構成したものである。これにより、例えば、マスクパターンを感光性基板に投影する投影系の光学特性の変動を露光動作中においてもリアルタイムに補正することができる。

【0021】ここで、請求項7に記載しているように、前記検出装置は、アースされた電流計または電圧計を有することが望ましい。この場合、特に、請求項8に記載しているように、前記反射膜または前記光学素子の近傍には、前記アースに対して正の電位を持つ電極部材が配置されることがより望ましい。これにより、前記反射膜または前記光学素子から飛び出す電子が確実に電極部材にて受け止められるため、前記反射膜または前記光学素子での光電効果を良好に引き起こすことができる。

【0022】また、請求項9に記載しているように、前記反射膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素および珪素酸化物の内の2つ以上の物質を積層させて形成された多層膜で形成されていることが好ましい。これらの物質により多層膜を形成すれば、X線等の光の照射により、計測に十分必要な光電効果を得ることができる。

【0023】また、請求項10に係る発明では、以上の請求項1乃至請求項9の露光装置において、さらに、前記照明系によって照明されるべき前記被照射面に配置されたマスクを保持するマスクステージと、前記感光性基板を保持する基板ステージと、前記マスクに形成された所定パターンを前記感光性基板に投影する際に、前記投影光学系に対して前記マスクステージと前記基板ステージとを相対的に移動させる駆動装置とを備えるように構成したものである。これにより、高いスループットのもとで、マスク全面のパターンを感光性基板上に走査露光することができる。

【0024】さらに、請求項11に係る発明では、請求項1乃至請求項10のいずれかに1項に記載の露光装置を用いた露光方法において、前記照明系によって前記マスクを照明する照明工程と、前記前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程を含むようにしたものである。これにより、良好なるマスクパターンが感光性基板上に転写することができるため、良好なる半導体デバイスが製造することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】物質面に光を照射した場合、光電効果により、電子が放出される。この時、電子の運動エネルギーの最大値 E_{MAX} と以下の式(2)で表せる。

$$(2) \quad E_{MAX} = h\nu - w$$

但し、 h はプランク定数、 ν は光の振動数、 w は仕事関数である。

【0026】以上の(2)式から光電効果が生ずる条件は、 $h\nu > w$ の時であるが、光電効果を生ずる物質面を金属とした場合、仕事関数 w は数eVであり、この数eVのエネルギーを波長に換算すると、数百nmとな

る。従って、5～20nm程度の軟X線領域の波長の光においても、確実に光電効果を得ることができる。

【0027】以上の事から、ハーフミラー等の光分割部材を用いなくても、露光装置の光学系を構成するミラー等の反射面に形成されている薄膜等に関する光電効果を測定することで、各種の計測を実現することが可能となる。ここで、軟X線用のミラーの反射膜として、導体や半導体（モリブデン、シリコン）等による多層膜により構成することができ、ミラー表面にて発生している光電効果を測定することによって各種の計測を実現することができる。

【0028】例えば、アースと反射面（反射膜）とを電流計又は電圧計を介して電気的に接続することにより、軟X線の照射により反射面（反射膜）にて発生する光電効果にて失われた分の電子が反射面（反射膜）に流れ込むため、この時の電流または電圧を電流計又は電圧計にて検出すれば、各種の計測が達成できる。以下、図1を参照しながら、本発明による実施の形態に係る露光装置について説明する。

【0029】図1には、本発明の実施形態にかかる露光装置の全体構成が概略的に示されている。この露光装置は、露光用の照明光として波長5～20nm程度の軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。なお、図1においては、マスク8の縮小像をウエハ10上に形成する投影系の光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。

【0030】この露光装置は、投影原版（マスク）としての反射型マスク8に描画された回路パターンの一部の像を投影系9を介して基板としてのウエハ10上に投影しつつ、マスク8とウエハ10とを投影光学系9に対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、反射型マスク8の回路パターンの全体をウエハ10上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0031】ここで、本実施形態における露光用の照明光である軟X線は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバー1により覆われて外気より遮断されている。まず、本実施形態における照明系について説明する。レーザ光源90は、赤外域～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は集光光学系91により集光されて、位置3に集光する。ノズル2は気体状の物体を位置3へ向けて噴出し、この噴出された物体は位置3において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

【0032】この位置3の周囲には、集光光学系を構成する楕円鏡4が配置されており、この楕円鏡4は、その第1焦点が位置3とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡4の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡4の第2焦点で一度集光した後、コリメート反射鏡としての放物面鏡5へ向かう。この放物面鏡5は、その焦点が楕円鏡4の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

【0033】放物面鏡5から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系6へ向かう。反射型フライアイ光学系6は、複数の反射面（複数のミラー要素）を集積してなる第1の反射素子群60aと、この第1の反射素子群60aの複数の反射面と対応した複数の反射面を有する第2の反射素子群60bとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群60a、60bを構成する複数の反射面上にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられている。

【0034】放物面鏡5からのコリメートされたEUV光は、第1の反射素子群6aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群6bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群6bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系6は、放物面鏡5からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。尚、このような反射型フライアイ光学系6については、本願出願人による特願平10-47400号に提案されている。

【0035】さて、反射型フライアイ光学系6により形成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー7へ向かい、このコンデンサミラー7にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー7aを介して、反射型マスク8上に達する。これらコンデンサミラー7及び偏向ミラー7aの表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー7は、2次光源から発するEUV光を集光して、反射型マスク8上の所定の照明領域を重畳的に均一照明する。

【0036】なお、本実施形態では、反射型マスク8へ向かう照明光と、該反射型マスク8にて反射されて投影系9へ向かうEUV光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ投影系9もマスク側非テレセントリックな光学系としている。さて、反射型マスク8上には、EUV光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射膜は、感光性基板としてのウエハ10上へ転写すべきパターンの

形状に応じたパターンとなっている。この反射型マスク 8 にて反射されて、反射型マスク 8 のパターン情報を含む EUV 光は、投影系 9 に入射する。

【0037】本実施形態の投影系 9 は、凹面形状の第 1 ミラー 9 a、凸面形状の第 2 ミラー 9 b、凸面形状の第 3 ミラー 9 c 及び凹面形状の第 4 ミラー 9 d の計 4 つのミラー（反射鏡）から構成されている。各ミラー 9 a～9 d は、基材上に EUV 光を反射する多層膜を設けたものからなり、それぞれの光軸が共軸となるように配置されている。

【0038】ここで、各ミラー 9 a～9 d により形成される往復光路を遮断しないために、第 1 ミラー 9 a、第 2 ミラー 9 b 及び第 4 ミラーには切り欠きが設けられている。また、第 3 ミラー 9 c の位置には、図示無き開口絞りが設けられている。反射型マスク 8 にて反射された EUV 光は、第 1 ミラー 9 a～第 4 ミラー 9 d にて順次反射されてウエハ 10 上の露光領域内に、所定の縮小倍率 β （例えば $|\beta| = 1/4, 1/5, 1/6$ ）のもとで反射型マスク 8 のパターンの縮小像を形成する。この投影系 9 は、像側（ウエハ 10 側）がテレセントリックとなるように構成されている。

【0039】なお、図 1 には不図示ではあるが、反射型マスク 8 は少なくとも Y 方向に沿って移動可能なレチクルステージにより支持されており、ウエハ 10 は XYZ 方向に沿って移動可能なウエハステージ（基板ステージ）により支持されている。露光動作の際には、照明系により反射型マスク 8 上の照明領域に対して EUV 光を照射しつつ、投影系 9 に対して反射型マスク 8 及びウエハ 10 を、投影系の縮小倍率により定まる所定の速度比で移動させる。これにより、ウエハ 10 上の所定のショット領域内には、反射型マスク 8 のパターンが走査露光される。

【0040】以上にて述べた各ミラーの表面の反射面は、EUV 光を反射するために反射膜としての多層膜が形成されている。この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されている。さて、次に、EUV 光による露光量を制御するための構成について説明する。被照射面としての反射マスクに最も近い位置に設けられた偏向ミラー 7 a の表面（反射面）には、前述の反射膜（多層膜）が形成されており、露光量を検出するための検出装置としての電流計 20 は、電気コードを介して偏向ミラー 7 a の反射膜と電気的に接続されている。また、電流計 20 は、電気コードを介して真空チャンパー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 20 はアースされている。

【0041】また、この偏向ミラー 7 a に対向した位置（偏向ミラー 7 a の近い位置）には、所定の電圧が加えられた正の電極板（電極部材）26 が配置されており、この電極板 26 は、電気コードを介して真空チャンパー

1 と電気的に接続されている。これによって、電極板 26 は所定の電圧を印加された状態でアースされている。

【0042】さらに、投影系 9 とウエハ 10 との間には、投影系 9 を構成する各ミラー（9 a～9 d）に、ウエハ 10 上に塗布されているレジストが EUV 光の照射で飛び散ることやレジストから放出されるガスによる汚れが付着するのを防止するフィルター 51 が配置されている。このフィルター 51 は、光電効果を有する導電性の光学素子で構成され、これは、EUV 光を十分に透過させるために、例えば、 $0.5\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 程度の厚さを持つ薄いシリコン板で構成されている。

【0043】ここで、露光量を検出するための検出装置としての電流計 25 は、電気コードを介してフィルター 51 の表面と電気的に接続されている。また、電流計 25 は、電気コードを介して真空チャンパー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 25 はアースされている。なお、不図示ではあるが、このフィルター 51 に対向した位置（偏向ミラー 7 a の近い位置）には、所定の電圧が加えられた正の電極板（電極部材）が配置されており、この電極板は、電気コードを介して真空チャンパー 1 と電気的に接続されている。これによって、フィルター 51 に対向した位置に設けられた電極板は所定の電圧が加えられた状態でアースされている。

【0044】図 1 に示すように、被照射面としての反射マスク 8 に最も近い位置に設けられた偏向ミラー 7 a の表面の反射膜を EUV 光が照射すると、EUV 光による光電効果によって偏向ミラー 7 a の反射膜からは電子が飛び出し、正の電極板 26 にて電子を受ける。これによって、電流計 20 は、EUV 光が偏向ミラー 7 a の反射膜を照射した光エネルギー量に対応する電流値を示す。

【0045】ここで、偏向ミラー 7 a は、反射マスク 8 に最も近い位置に設けられているため、電流計 20 にて検出される電流値は、実質的に反射マスク 8 の照射面に相当する光エネルギー量とすることできる。なお、反射マスク 8 の露光量を検出するための検出装置は、アースされた電流計 20 と、これと対向配置されかつ所定の電圧が印加された電極板 26 とを有して構成されている。

【0046】また、被照射面としてのウエハ 10 の最も近い位置に設けられたフィルター 51 に EUV 光が照射すると、EUV 光による光電効果によってフィルター 51 の表面からは電子が飛び出し、このフィルター 51 に対向する位置に配置された不図示の正の電極板にて電子を受ける。これによって、電流計 25 は、EUV 光がフィルター 51 を照射した光エネルギー量に対応する電流値を示す。

【0047】ここで、フィルター 51 は、被照射面（被露光面）としてのウエハ 10 に最も近い位置に設けられているため、電流計 25 にて検出される電流値は、実質的にウエハ 10 の照射面に相当する光エネルギー量とすることできる。なお、露光量を検出するための検出装置

は、アースされた電流計 25 と、これと対向配置されかつ所定の電圧が印加された不図示の電極板とを有して構成されている。

【0048】以上のように、電流計 20 及び電流計 25 にて検出される各電流値に関する情報（マスク 8 やウエハ 10 に与えている露光量）は、露光動作中においてもリアルタイムで露光量算出装置 60 に入力され、この露光量算出装置 60 では、マスク 8 を照射する光エネルギー量から露光に必要な積算露光量を算出する。この露光量算出装置 60 に算出された積算露光量の算出結果に関する情報は、X線制限手段としてのX線出力調整装置 61 に入力され、このX線出力調整装置 61 によってレーザ光源 90 から出力されるレーザ光を供給を停止させる。

【0049】以上の構成によって所望の露光エネルギー量をマスク 5 やウエハ 10 に与えることができる。すなわち、図 1 に示す例のようにステップ・スキャン露光では、露光動作中において、ウエハ 10 上の各ショット領域毎で露光量が一定（単位時間当たりの光エネルギー供給量が一定）となるように、レーザ光源 90 の出力を調整することができる。

【0050】なお、X線制限手段としては、X線出力調整装置 61 によってレーザ光源 90 の出力を停止させる以外に、レーザ光源 90 と反射型フライアイ光学系 6 との間の光路中に光束を遮光するシャッターを配置すると共に、露光量算出装置 60 からの出力に基づいて、上記シャッターの駆動を制御するシャッター制御装置を配置する構成としても良い。

【0051】また、図 1 に示す例では、電流計 20 にて反射マスク 8 の照射面に相当する光エネルギー量を検出し、電流計 25 にてウエハ 10 の照射面に相当する光エネルギー量を検出しているが、いずれか一方の電流計（20、25）にて、照射面に相当する光エネルギー量を検出して、露光量算出装置 60 にて照射面（反射マスク 8 又はウエハ 10）での積算露光量を算出しても良い。

【0052】さらに、図 1 に示す例では、露光量計測用の各光学部材（7a、51）においてそれぞれ対向して配置された正の電極板が設けた例を説明したが、これらの正の電極板がなくても、各電流計（20、25）にて光エネルギー量を検出することができる。さらには、以上の例では、露光量を検出するための検出装置として電流計を用いた例を示したが、電圧計等を用いることも可能である。

【0053】また、以上においては、被照射面（マスク 8、ウエハ 10）に最も近い位置に配置された光学部材（7a、51）の反射面または表面での光電効果を露光量計測のために電流計等の検出装置にて検出した例を説明したが、被照射面（マスク 8、ウエハ 10）から離れた位置に配置された反射ミラー（5、6a、6b、7、

9a～9d）やフィルター等の光電効果を露光量計測のために電流計等の検出装置にて検出していても良い。

【0054】ところで、次に、EUV 光による蓄熱等の影響により投影系 9 の光学特性を制御するための構成について説明する。投影系 9 は、前述した如く、4 枚の反射ミラー（9a～9b）を有している。ここで、各反射ミラー（9a～9b）の表面には、前述した如く、反射膜としての多層膜が形成されている。

【0055】反射ミラー 9a に照射される光エネルギー量を検出する検出装置としての電流計 24 は、電気コードを介して反射ミラー 9a の反射膜（多層膜）と電気的に接続されている。この電流計 24 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 24 はアースされている。反射ミラー 9b に照射される光エネルギー量を検出する検出装置としての電流計 23 は、電気コードを介して反射ミラー 9b の反射膜（多層膜）と電気的に接続されている。この電流計 23 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 23 はアースされている。

【0056】反射ミラー 9c に照射される光エネルギー量を検出する検出装置としての電流計 21 は、電気コードを介して反射ミラー 9b の反射膜（多層膜）と電気的に接続されている。この電流計 21 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 21 はアースされている。反射ミラー 9d に照射される光エネルギー量を検出する検出装置としての電流計 22 は、電気コードを介して反射ミラー 9d の反射膜（多層膜）と電気的に接続されている。この電流計 22 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 22 はアースされている。

【0057】ここで、投影系 9 の内部には、2 つの反射ミラー 9a 及び 9c の反射面に対して対向した位置には、所定の電圧が加えられた正の電極板（電極部材）27 が配置されており、この電極板 27 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されている。これによって、電極板 27 は所定の電圧が加えられた状態でアースされている。

【0058】また、投影系 9 の内部には、2 つの反射ミラー 9b 及び 9d の反射面に対して対向した位置には、所定の電圧が加えられた正の電極板（電極部材）28 が配置されており、この電極板 28 は、電気コードを介して真空チャンバー 1 と電気的に接続されている。これによって、電極板 28 は所定の電圧が加えられた状態でアースされている。

【0059】以上の構成によって、投影系 9 を構成する各反射ミラー（9a～9d）に EUV 光が照射されると、EUV 光による光電効果によって反射ミラー（9a～9d）の反射膜からは電子が飛び出す。このとき、2

つの反射ミラー（9 a、9 c）の反射膜からの電子は、これらに対向配置された正の電極板 2 7 にて受け取られる。これによって、2つの電流計（2 1、2 4）は、EUV光が各反射ミラー（9 a、9 c）を照射した光エネルギー量に対応する電流値を示す。

【0060】また、これと同時に、残りの2つの反射ミラー（9 b、9 d）の反射膜からの電子は、これらに対向配置された正の電極板 2 8 にて受け取られる。これによって、残り2つの2つの電流計（2 2、2 3）は、EUV光が各反射ミラー（9 b、9 d）を照射した光エネルギー量に対応する電流値を示す。以上のように、4つの電流計（2 1～2 4）にて検出される各電流値に関する情報（各反射ミラー（9 a～9 d）に与えている光エネルギー量）は、露光動作中においてもリアルタイムで補正量算出手段 7 0 に入力される。この補正量算出手段 7 0 の内部の記憶部には、投影系 9 を構成する個々の反射ミラー（9 a～9 d）に関する照射量と変形量との相関的な関係が予め記憶されており、補正量算出手段 7 0 は、4つの電流計（2 1～2 4）からの出力と上記記憶部の記憶情報とに基づいて、個々のミラー（9 a～9 d）の変形量を求める。なお、補正量算出手段 7 0 の内部の記憶部に予め記憶されている情報は、実際に実験的に求めた計測データによるものやシミュレーションによる計算結果による計算データによるものであっても良い。

【0061】次に、この変形量算出手段 7 0 にて求められた個々の反射ミラー（9 a～9 d）の変形量に関する情報は、調整量算出手段 7 1 に入力され、光照射により個々のミラーが変形すること起因して悪化する投影系 9 の光学特性を補正するために、この調整量算出手段 7 1 は、変形量算出手段 7 0 からの出力に基づいて、個々の反射ミラー（9 a～9 d）の補正量（X、Y又はZ方向での個々の反射ミラーの移動量や個々の反射ミラーの傾斜量）を算出する。

【0062】次に、調整量算出手段 7 1 からの補正のための出力は駆動装置（調整手段）7 2 に入力され、この駆動装置 7 2 は、調整量算出手段 7 1 から出力に基づいて、個々の反射ミラー（9 a～9 d）をそれぞれ適切な方向に移動または適性な傾斜量だけ傾斜させる。以上のように、駆動装置 7 2 によって、個々の反射ミラー（9 a～9 d）が適切な位置に再設定されることによって、露光動作中においても、EUV光の照射により変化する投影系 9 の光学特性（倍率誤差や収差等）を良好に補正することができる。

【0063】また、図 1 に示す例では、投影系 9 を構成する全ての反射ミラー（9 a～9 d）に照射される光エネルギー量から全ての反射ミラー（9 a～9 d）の変形量を求めた例を示したが、投影系 9 において EUV 光の照射により顕著に変形する反射ミラーのみの光エネルギーを検出して、投影系 9 を構成する少なくとも 1 つのミ

ラーを移動あるいは傾斜させて、投影系 9 の光照射変動を補正するように構成しても良い。

【0064】さらに、図 1 に示す例では、投影系 9 を構成する各反射ミラー（9 a～9 d）に対向する位置に正の電極板（2 7、2 8）が設けた例を説明したが、これらの正の電極板がなくても、各電流計（2 1～2 4）にて光エネルギー量を検出することができる。さらには、投影系 9 の光照射による変動を補正する例においては、露光量を検出するための検出装置として電流計を用いた例を示したが、電圧計等を用いることも可能である。

【0065】さて、次に、EUV光を照射することにより光学部材の汚れに伴う光学特性の劣化を検知することについて説明する。図 1 に示すように、レーザ・プラズマ光源（9 0、9 1、2、3）を用いた場合には、デブリと呼ばれる微小な物質の飛沫を生ずるという問題がある。この微細な飛沫により光学部品が汚染されると、光学系の性能（ミラーの反射率及び反射の均一性）が著しく劣化する。このため、図 1 に示すように、光源部（9 0、9 1、2、3）と露光装置本体部との間には、軟 X 線のみを透過させ飛散粒子を透過させないフィルター 5 0 a を配置している。このフィルター 5 0 a は、光電効果を有する導電性の光学素子で構成され、これは、EUV光を十分に透過させるために、例えば、0.5 μm ～ 1 μm 程度の厚さを持つ薄いシリコン板で構成されている。

【0066】このフィルター 5 0 a は、電気を絶縁する絶縁部材 5 0 b によって支持されている。さて、フィルター 5 0 a の汚れの状態（光学特性の劣化）を検出するための検出装置としての電流計 5 0 c は、電気コードを介してフィルター 5 0 a の表面と電気的に接続されている。また、電流計 5 0 c は、電気コードを介して真空チャンパー 1 と電気的に接続されており、これによって、電流計 5 0 c はアースされている。

【0067】また、このフィルター 5 0 a に対向した位置（フィルター 5 0 a の近い位置）には、所定の電圧が加えられた正の電極板（電極部材）5 0 d が配置されており、この電極板 5 0 d は、電気コードを介して真空チャンパー 1 と電気的に接続されており、これによって、電極板 5 0 d は電圧を加えられた状態でアースされている。

【0068】図 1 に示すように、フィルター 5 0 a に対して EUV 光が照射されると、EUV 光による光電効果によってフィルター 5 0 a の反射膜からは電子が飛び出し、正の電極板 5 0 d にて電子を受ける。これによって、電流計 5 0 c は、EUV 光が照射した光エネルギー量に対応する電流値を示す。ここで、EUV 光の照射によりデブリと呼ばれる微小な物質の飛沫がフィルター 5 0 a 及び楕円鏡 4 に付着するため、電流計 5 0 c にて検出される電流値は、楕円鏡 4 及びフィルター 5 0 a の汚染度に応じて経時的に変化する。すなわち、電流計 5 0

cにて検出される電流値には、フィルター50aの汚染度によって低下した光電効果に関する情報に加えて、楕円鏡4の汚染により低下した反射率に関する情報が含まれている。

【0069】従って、電流計50cにて検出される電流値に関する情報は、光学特性の劣化を検知する検知手段80に入力され、この検知手段80は、電流計50cからの出力に基づいて、フィルター50a等の汚れ具合（光学特性の劣化の具合）を検知する。もし、検知手段80は、フィルター50a等が許容できない程度まで汚れている（光学特性が劣化している）と判断した時（ある検出レベル以下となった時）には、CRTモニター等の表示装置81を介してフィルター50a等の交換時期または交換すべきメッセージを表示させる。

【0070】これにより、フィルター50a、楕円鏡4、レンズ91等の光学部品をメンテナンスまたは交換すべきタイミングを知ることができるという利点がある。なお、フィルター50aの汚れ具合（光学特性の劣化の具合）をより正確に検知するためには、そのフィルター50aよりもマスク側に存在する反射ミラーとして、例えば、放物面鏡5の反射膜での光電効果を検出する電流計等の検出装置を設け、この検出装置からの出力を検知手段80に入力し、検知手段80は、フィルター50aの表面での光電効果及び放物面鏡5の反射膜（フィルター50aよりもマスク側に存在する反射ミラーの反射膜）での光電効果（フィルター50aの透過率に関する情報）に基づいて、フィルター50aの汚れ具合（光学特性の劣化の具合）を検知することが好ましい。

【0071】また、図1に示す例では、検知手段80は、フィルター50aの汚れ（光学特性の劣化）を検知した例を示したが、これに限らず、楕円鏡4の反射膜での光電効果を検出する不図示の電流計等の検出装置を配置し、楕円鏡4の光電効果を検出する検出装置からの出力に基づいて、楕円鏡4の反射膜の汚れ（光学特性の劣化）として、楕円鏡4の反射膜での反射率の変化を検知するように構成しても良い。この場合、検知手段80は、電流計等の検出装置50cを介して得られたフィルター50aの表面の光電効果と不図示の電流計等の検出装置を介して得られた楕円鏡4の反射膜での光電効果に基づいて、楕円鏡4の反射膜の汚れ（光学特性の劣化）を検知することが望ましい。これにより、楕円鏡4の反射膜の汚れ（光学特性の劣化）をより一層正確に検知することができる。

【0072】また、図1に示す例では、フィルター50aに対向する位置に正の電極板50dを設けた例を説明したが、この正の電極板50dがなくても、電流計50cのみでもフィルター50aの表面での光エネルギー量を検出することができる。さらには、フィルター50aの汚染を検知する例においては、電流計を用いた例を示したが、電圧計等を用いることも可能である。

【0073】また、光学部材の汚れ等の光学特性の劣化を検知する構成は、フィルター50aに限ることなく、ウエハ10上に設けられたフィルター51の汚れ等の光学特性の劣化を検知しても良く、さらには、これらのフィルターとは別の汚れ易い光学部材の汚れを検知するようにしても良い。また、反射ミラー等の反射型光学部材は、長期にわたる露光光（EUV等）の照射によって反射率等の特性が経時的に劣化する恐れがあるため、反射型光学部材の反射面の反射率を光電効果によって検知する検知手段を配置して、この検知手段によって反射ミラー等の反射型光学部材の光学特性の劣化（反射率の低下等）を検知する構成としても良い。これにより、各ミラーの反射率の経時変化を監視できるため、各ミラーのメンテナンスに必要な時期を把握することができる。

【0074】ところで、図1にて説明した露光装置において、反射型フライアイ光学系6にEUV光を供給する光源部（90、91、2～5）は、実際上において、相当の体積を必要とするために、露光装置本体部（反射型フライアイ光学系6からウエハ10までの光学系及び制御システム）と同等あるいはそれ以上の体積となる可能性がある。このため、光源部（90、91、2～5）と露光装置本体部とをそれぞれ独立に分離して、光源部（90、91、2～5）と露光装置本体部とを独立の基盤に設置される可能性がある。この場合、作業者の歩行等による床の振動や光源部（90、91、2～5）と露光装置本体部との自重によって床に歪みが生じる場合には、光源部（90、91、2～5）の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸とがずれ、調整状態が狂ってしまう恐れがある。

【0075】そこで、露光装置本体部の光路（反射型フライアイ光学系6からウエハ10までの光路）において、光源部（90、91、2～5）に対する光軸ずれを光電的に検出する検出装置を配置し、コリメートミラーとしての反射鏡5の傾きを調整可能に構成し、さらに、上記光電検出器からの出力に基づいて、反射鏡5の傾きを制御する制御部を設けることが望ましい。これにより、作業者の歩行等による床の振動や床に歪みが生じたとしても、光源部（90、91、2～5）の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸と自動的に合致させることができる。

【0076】この場合、図1に示す照明系中の反射型フライアイ光学系6を構成する少なくとも一方の光学素子群（60a、60b）を構成する多数のミラー要素（多数のミラー要素の反射膜）毎に電流または電圧を検出する検出装置を上記光軸ずれを光電的に検出する検出装置として配置し、個々のミラー要素（個々のミラー要素の反射膜）毎に電流または電圧を検出すれば、反射型フライアイ光学系6に入射するEUV光の正確な位置を検知することができる。

【0077】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、ハーフミラー等の光束を振幅分割する光学部材を用いずとも、例えば軟X線領域の波長を持つ露光光に関する光エネルギーを光電効果によって検出することができるため、露光装置に関する各種の計測が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る露光装置の構成を示す図である。

【図2】従来の露光装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

1... チャンバー

2... ノズル

4... 楕円鏡

5... 放物面鏡

6... 反射型フライアイ光学系

7a... 偏向ミラー

7... コンデンサー光学系

8... 反射型マスク

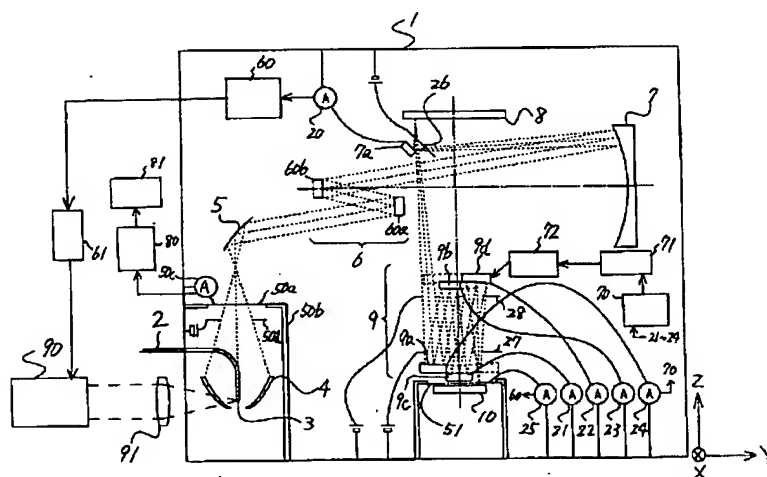
9... 投影系

10... ウエハ

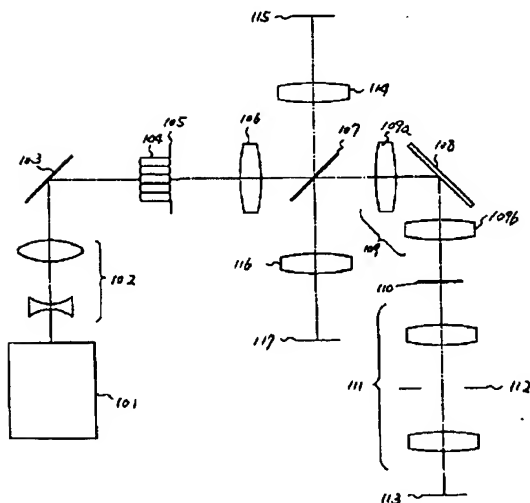
20~24、50c... 電流計

50a、51... フィルター

【図1】



【図2】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA21 PA01 QA02 QA06 QA14
TA01 TA08
2H097 AA03 AB09 BA03 BB01 CA15
GA43 GB01 LA10
5F046 AA06 AA08 CA04 CB02 CC04
DA02 DB05 DB10 DB12 DC02
DC06 GA04 GA11 GA12